

PENERAPAN JARINGAN SYARAF TIRUAN TIPE PENGELOMPOKAN POLA ADAPTIF WAKTU-NYATA (RTAC) DALAM OTOMATISASI KLASIFIKASI GEMPA VOLKANIK

Sudarmaji, Sri Hartati, dan Budi Eka Nurcahya
Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

INTISARI

Program pengklasifikasi gempa vulkanik otomatis menggunakan jaringan syaraf tiruan tipe pengelompokan pola adaptif waktu nyata (RTAC) telah dibuat. Pola spektral gempa dipakai sebagai masukan atau ruang ciri. Program ini mampu melakukan proses adaptasi diri terhadap perubahan kondisi lingkungan. Adaptasi diri dilakukan dengan cara mendefinisikan kelas pola gempa baru dan bobot pengetahuan jaringan syaraf baru atau dengan memperbaharui bobot pengetahuan jaringan syaraf yang sudah ada dengan proses ajar.

Kelas pola gempa hasil klasifikasi gempa tiruan dan gempa gunung api mengandung gempa-gempa dengan pola spektral dan amplitudo gempa rata-rata berdekatan atau serupa. Jumlah kelas pola gempa ditentukan oleh nilai ambang jaringan syaraf. Semakin besar nilai ambang jaringan syaraf semakin banyak kelas pola terbentuk. Sistem pengklasifikasi mencapai kesetimbangan ketika tidak ada kelas pola gempa baru terbentuk. Sistem klasifikasi mencapai kesetimbangan penuh ketika tidak ada kesalahan klasifikasi (*misclassification*) terhadap gempa yang sama dalam klasifikasi yang berbeda. Kesalahan klasifikasi terjadi karena pergeseran bobot pengetahuan jaringan syaraf. Waktu klasifikasi ditentukan oleh jumlah kelas pola gempa yang terbentuk. Semakin banyak kelas pola yang terbentuk semakin lama waktu klasifikasi.

Kata kunci : Jaringan syaraf tiruan.

THE AUTOMATIC VOLCANIC EARTHQUAKES CLASSIFIER WITH ADAPTIVE CLUSTERING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

ABSTRACT

The program for automatic volcanic earthquakes classifier using real-time adaptive clustering (RTAC) artificial neural network has been created. The power spectral of volcanic earthquake is used as input or feature space of the neural network. The system is able to do self-adaptation over the change of field condition. Self-adaptation is done with defining new earthquakes cluster and new knowledge weight or with updating old knowledge weight by learning process.

The classification of synthetic and volcanic earthquake produces several earthquake clusters. These clusters consist of earthquakes, which have the similarity on power spectral and average earthquake amplitude. The number of earthquake cluster is depended on the threshold value. The increasing of the threshold value causes the increasing of cluster number. The program reaches the equilibrium completely when there is no misclassification. This misclassification is caused by the shifting of knowledge weight. The time of classification is depended on the number of earthquakes cluster. The more the number of clusters the longer the time of classification.

Keywords : Artificial neural network.

I. PENDAHULUAN

Jaringan syaraf tiruan (*artificial neural network*) atau JST adalah sistem komputasi yang mengadopsi prinsip kerja jaringan syaraf biologis. JST sangat bagus untuk klasifikasi dan pencocokan (*matching*) pola, optimasi, kuantisasi vektor dan clustering data. Perilaku umum JST dapat menampilkan kemampuan untuk belajar, memanggil, mengingat dan menggeneralisasi pola atau data pelatihan (*training*) (Lin dan Lee, 1996). JST mampu bekerja dibawah kondisi ketidakpastian dan cukup toleran terhadap noise, serta mampu melakukan adaptasi diri dengan kondisi lingkungan (Fu, 1993).

Falsaperla, dkk., (1996) telah mengusulkan klasifikasi gempa vulkanik otomatis dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan tipe perceptron multi-lapis (*Multi-Layered Perceptron Neural Networks*). Klasifikasi dilakukan terhadap gempa-gempa ledakan (*explosion quakes*) yang berasal dari gunung stromboli. Hasilnya menunjukkan tingkat klasifikasi benar yang tinggi ($\pm 89\%$) ketika pola spektral gempa dijadikan sebagai pola masukan atau ruang ciri (*feature space*) jaringan.

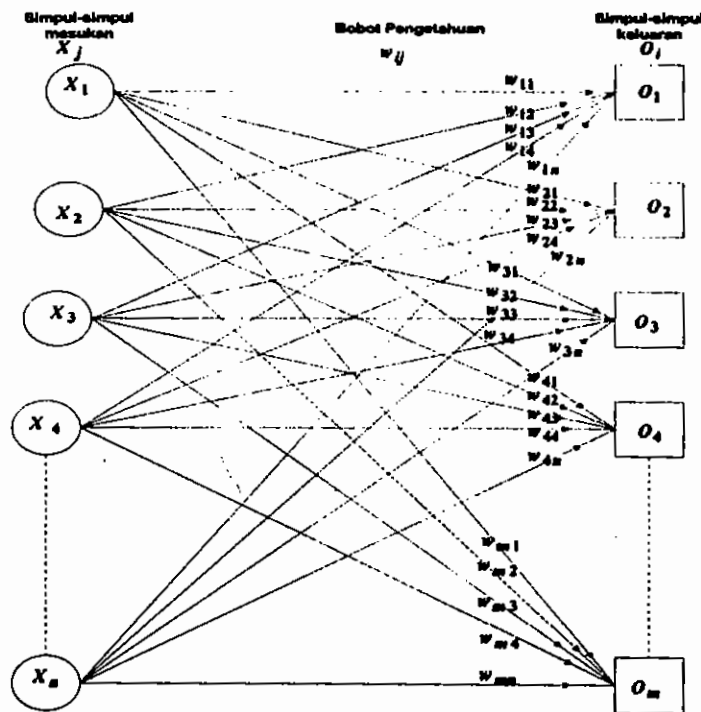
Penelitian ini akan menerapkan JST tipe pengelompokan pola adaptif waktu nyata (*Real-time adaptif clustering* atau *RTAC*) untuk otomatisasi klasifikasi gempa vulkanik. Pola spektral gempa dipakai sebagai pola masukan atau ruang ciri pada jaringan.

II. DASAR TEORI

2.1. Jaringan Syaraf Tiruan Tipe RTAC

Topologi jaringan syaraf tiruan tipe pengelompokan pola adaptif waktu-nyata (*Real-time adaptif clustering* atau *RTAC*) terdiri dari dua-lapisan, yakni : lapisan masukan dan lapisan keluaran. Lapisan masukan terdiri atas neuron-neuron pengkode ruang ciri (*feature space*). Lapisan keluaran terdiri atas neuron-neuron keluaran yang berfungsi sebagai pengkode hasil klasifikasi. Jumlah simpul masukan menunjukkan lebar vektor pola masukan atau ruang ciri yang dipakai. Jumlah simpul keluaran menunjukan jumlah kelas pola

(cluster) yang telah terbentuk. Jumlah simpul masukan bersifat tetap, sedangkan jumlah simpul keluaran berubah secara dinamis sesuai dengan kelas pola yang sudah terbentuk atau terdefiniskan. Jaringan syaraf RTAC merupakan jaringan syaraf dengan koneksi maju (*feedforward*) secara penuh dan tidak memiliki koneksi balik (Fu, 1993). Gambar 1. menunjukkan skema topologi JST RTAC.



Gambar 1. Skema topologi jaringan syaraf tiruan RTAC

Neuron-neuron pada lapisan masukan memiliki nilai aktivasi yang sama dengan nilai vektor pola masukan yang dikodekan ke JST. Neuron-neuron pada lapisan keluaran memiliki fungsi integrasi sebagai berikut :

$$s(\vec{x}, \vec{w}_i) = 1 - \frac{\|\vec{x} - \vec{w}_i\|}{\|\vec{x}\| + \|\vec{w}_i\|} \quad (1)$$

dengan

$$\|\vec{x} - \vec{w}_i\| = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_j - w_{ij})^2} \quad (2)$$

$$\|\vec{x}\| = \sqrt{\sum_{j=1}^n x_j^2} \quad (3)$$

dan

$$\|\vec{w}_i\| = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_{ij}^2} \quad (4)$$

$\|\vec{x} - \vec{w}_i\|$ adalah jarak Euclidean antara dua buah vektor \vec{x} dan \vec{w}_i , sedangkan $\|\vec{x}\|$ dan $\|\vec{w}_i\|$ adalah panjang vektor \vec{x} dan \vec{w}_i . Fungsi integrasi $s(\vec{x}, \vec{w}_i)$ mengukur nilai jarak keserupaan (*similarity distance*) s antara vektor pola masukan \vec{x} dan vektor bobot \vec{w}_i . Range nilai jarak keserupaan s adalah $0 \leq s \leq 1$. Dua buah vektor pola yang sama memiliki nilai keserupaan $s = 1$, sedang dua vektor pola yang sama sekali berbeda memiliki nilai keserupaan $s = 0$ (Fu, 1993).

Fungsi aktivasi neuron-neuron tiruan pada lapisan keluaran dirumuskan dalam persamaan berikut:

$$O_i = \begin{cases} 1 & , \text{jika } s(\vec{x}, \vec{w}_i) > s(\vec{x}, \vec{w}_l) \text{ untuk semua } l \neq i \text{ dan } s(\vec{x}, \vec{w}_i) > \theta \\ 0 & , \text{bagi yang lain} \end{cases} \quad (5)$$

dimana \vec{w}_i ($\vec{w}_i = [w_{i1}, w_{i2}, w_{i3}, \dots, w_{in}]$) adalah vektor bobot pengetahuan yang terhubung dengan unit keluaran i , \vec{x} ($\vec{x} = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]$) adalah vektor ruang ciri atau vektor pola masukan yang diberikan pada jaringan dan θ adalah nilai ambang (*threshold value*) jaringan. Parameter ambang (*threshold*) θ merupakan parameter jaga (*vigilence value*) yang menentukan tingkat adaptifitas dan jumlah kelas pola (*cluster*) jaringan syaraf RTAC. Parameter ambang digunakan oleh jaringan RTAC untuk menentukan apakah perlu dibuat kelas pola (*cluster*) baru atau tidak. Jaringan syaraf adaptif RTAC akan mendefinisikan kelas pola baru jika tidak ada neuron keluaran teraktivasi. Simpul keluaran baru ke- i akan didefinisikan, serta bobot $w_{ij} = x_j$ akan dialokasikan, dengan

menambahkannya pada simpul keluaran dan bobot / pengetahuan yang sudah ada (Fu, 1993).

Persamaan dasar aturan ajar RTAC adalah sebagai berikut :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \Delta w_{ij} \quad (6)$$

dimana $w_{ij}(t)$ adalah bobot dari unit j ke unit i pada waktu t dan Δw_{ij} penyetelan bobot. Perubahan bobot dihitung dengan :

$$\Delta w_{ij} = \frac{1}{n_{ik}} O_i (-w_{ij} + x_j) \quad (7)$$

dimana n_i jumlah simpul keluaran ditambah satu, dan O_i adalah aktivasi simpul i dan x_j adalah aktivasi unit masukan. Bobot w_{ij} belajar dengan mereduksi kesalahan (kriteria kesalahan kuadrat atau *squared error*) antara dirinya dan x_j dalam arah penurunan gradient terdalam (*steepest gradient descent*). Jaringan syaraf RTAC menerapkan strategi belajar pemenang-ambil-semua (*winner-take-all strategy*) dan aturan ajar kompetitif. Aktivasi O_i bernilai 1 atau 0 sesuai dengan strategi pemenang-ambil-semua (*winner-take-all strategy*) (Fu, 1993).

Implementasi jaringan syaraf tiruan RTAC untuk klasifikasi atau pengelompokan pola (*clustering*) dibagi dalam dua fase, yakni; fase latihan (*training*) dan fase klasifikasi. Pada fase latihan, jaringan syaraf tiruan RTAC melakukan proses pendefinisian kelas pola dan pembebanan bobot pengetahuan, serta melakukan proses ajar (*learning*). Pada fase ini, jaringan syaraf RTAC membangun basis pengetahuannya sesuai dengan kondisi lingkungan terklasifikasi. Pelatihan dilakukan berulang-ulang hingga jaringan mencapai keadaan konvergen. Keadaan konvergen dicapai ketika tidak ada kesalahan klasifikasi untuk pola yang sama dalam saat klasifikasi berbeda.

Pada fase klasifikasi jaringan syaraf tiruan RTAC hanya melakukan proses klasifikasi. Pada fase ini jaringan syaraf tidak melakukan pendefinisikan kelas

pola baru dan proses ajar, sehingga nilai ambang jaringan diabaikan. Fase klasifikasi dikerjakan setelah jaringan syaraf tiruan menyelesaikan fase latihan.

2.2. Pola Spektral Gempa

Spektrum daya (*power spectral density*) gempa merupakan pola sebaran radiasi energi spektral gempa pada komponen frekuensi tertentu. Spektrum daya gempa sering disebut sebagai pola spektral gempa. Spektrum daya dari runtun frekuensi $X(k)$ dengan $k = 0, 1, \dots, N-1$, sebagai hasil tranformasi fourier diskrit (*discrete fourier transforms*) terhadap data runtun waktu dengan panjang data N , didefinisikan sebagai berikut:

$$P(k) = \frac{1}{N^2} |X(k)|^2 \text{ untuk } k = 0 \text{ dan } k = N/2 \quad (8)$$

$$P(k) = \frac{1}{N^2} \left(|X(k)|^2 + |X(N-k)|^2 \right) \text{ untuk } k = 1, 2, 3, \dots, N/2 - 1 \quad (9)$$

Transformasi fourier diskrit dari data runtun waktu $x(n)$ dengan panjang data N , ke dalam bentuk sinyal frekuensi diskrit $X(k)$ dirumuskan sebagai berikut :

$$X(k) = DFT\{x(n)\} = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi kn/N},$$

untuk $k = 0, 1, 2, \dots, N-1$ (10)

Sedangkan transformasi fourier diskrit invers dari sinyal frekuensi diskrit $X(k)$ ke dalam bentuk sinyal runtun waktu $x(n)$ didefinisikan :

$$x(n) = IDFT\{X(k)\} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{j2\pi kn/N},$$

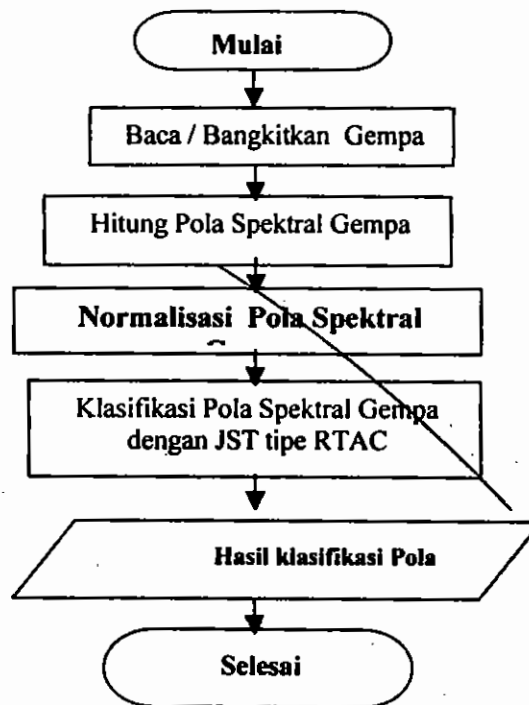
untuk $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$ (11)

(Fadeli, 1995).

III. OTOMATISASI KLASIFIKASI GEMPA VOLKANIK

3.1. Rancangan Program

Program pengklasifikasi gempa vulkanik otomatis ini ditulis dengan bahasa pemrograman (*compiler*) Borland C++ 5.0. Dan dengan menerapkan strategi pemrograman berorientasi objek (*Object Oriented Programming*). Rancangan program ini terdiri atas beberapa blok, yakni : pembaca atau pembangkit gempa, penghitung pola spektral gempa, penormalisasi pola spektral gempa, pengklasifikasi pola spektral dengan JST tipe RTAC dan menyimpan hasil klasifikasi (Skema Gambar 2.).



Gambar 2. Diagram alir program pengklasifikasi gempa vulkanik otomatis

3.2. Metode Percobaan

Uji Klasifikasi Gempa Tiruan

Gempa tiruan dibangkitkan dengan menggunakan fungsi sinus teredam. Persamaan dasar fungsi tersebut adalah:

$$X(t) = A_0 e^{-\alpha t} \sin(2\pi f t) \quad (15)$$

Pada percobaan ini, dibangkitkan 60 buah gempa tiruan. Tabel 1. menunjukkan urutan susunan 60 gempa dengan frekuensi spektral bervariasi. Gempa-gempa ini memiliki frekuensi spektral yang bervariasi dengan lebar pita frekuensi sama. Frekuensi spektral gempa bervariasi antara (0-10) Hz s/d (14.75- 24.75) Hz, dengan lebar pita frekuensi 10 Hz. Gempa-gempa ini memiliki amplitudo gempa, interval cuplik gempa, panjang data tiap gempa dan konstanta redaman yang konstan. Gempa-gempa ini memiliki amplitudo 20000, interval cuplik 0.02, panjang runtun waktu gempa 8192 dan konstanta peredaman -0.002. Gempa-gempa tersebut disusun dengan urutan dari frekuensi spektral terkecil hingga frekuensi spektral terbesar. Pengujian klasifikasi otomatis terhadap gempa-gempa tiruan dengan memakai JST tipe RTAC ini dilakukan dalam dua fase, yakni pada fase pelatihan (*training*) dan fase klasifikasi. Uji klasifikasi dilaksanakan dengan memakai nilai ambang JST tipe RTAC 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 dan 1.

Tabel 1. Urutan susunan gempa tiruan dengan frekuensi spektral bervariasi

1.	0 - 10	21.	5 - 15	41.	10 - 20
2.	0.25 - 10.25	22.	5.25 - 15.25	42.	10.25 - 20.25
3.	0.50 - 10.50	23.	5.50 - 15.50	43.	10.50 - 20.50
4.	0.75 - 10.75	24.	5.75 - 15.75	44.	10.75 - 20.75
5.	1 - 11	25.	6 - 16	45.	11 - 21
6.	1.25 - 11.25	26.	6.25 - 16.25	46.	11.25 - 21.25
7.	1.50 - 11.50	27.	6.50 - 16.50	47.	11.50 - 21.50
8.	1.75 - 11.75	28.	6.75 - 16.75	48.	11.75 - 21.75
9.	2 - 12	29.	7 - 17	49.	12 - 22
10.	2.25 - 12.25	30.	7.25 - 17.25	50.	12.25 - 22.25
11.	2.50 - 12.50	31.	7.50 - 17.50	51.	12.50 - 22.50
12.	2.75 - 12.75	32.	7.75 - 17.75	52.	12.75 - 22.75
13.	3 - 13	33.	8 - 18	53.	13 - 23
14.	3.25 - 13.25	34.	8.25 - 18.25	54.	13.25 - 23.25
15.	3.50 - 13.50	35.	8.50 - 18.50	55.	13.50 - 23.50
16.	3.75 - 13.75	36.	8.75 - 18.75	56.	13.75 - 23.75
17.	4 - 14	37.	9 - 19	57.	14 - 24
18.	4.25 - 14.25	38.	9.25 - 19.25	58.	14.25 - 24.25
19.	4.50 - 14.50	39.	9.50 - 19.50	59.	14.50 - 24.50
20.	4.75 - 14.75	40.	9.75 - 19.75	60.	14.75 - 24.75

Uji Klasifikasi Gempa Vulkanik

Untuk keperluan uji klasifikasi otomatis dengan memakai JST tipe RTAC terhadap gempa vulkanik ini, di cuplik 60 buah gempa vulkanik dari rekaman data gempa gunung Merapi. Klasifikasi otomatis terhadap gempa vulkanik ini dilakukan dalam dua fase, yakni pada fase pelatihan (*training*) dan fase klasifikasi. Uji klasifikasi dilaksanakan memakai nilai ambang JST tipe RTAC 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 dan 1.

3.3. Hasil Klasifikasi

Klasifikasi Gempa Tiruan

Hasil klasifikasi otomatis terhadap 60 gempa tiruan dengan variasi frekuensi spektral menunjukkan bahwa gempa-gempa tersebut akan dikelompokkan ke dalam beberapa kelas pola (*cluster*). Gempa-gempa dengan frekuensi spektral sama atau berdekatan akan dikelompokkan ke dalam kelas pola yang sama.

Jumlah kelas pola yang terbentuk ditentukan oleh nilai ambang jaringan syaraf tiruan tipe RTAC. Semakin besar nilai ambang jaringan syaraf tipe RTAC maka semakin besar jumlah kelas pola yang terbentuk. Nilai ambang jaringan syaraf menunjukkan jarak keserupaan minimum antar gempa yang diperbolehkan terjadi dalam satu kelas pola. Jumlah kelas pola menentukan lama waktu klasifikasi. Semakin banyak kelas pola yang terbentuk akan semakin lama waktu klasifikasi (*running time*). Dalam penelitian ini waktu klasifikasi dihitung selama klasifikasi terhadap 60 gempa tiruan. Waktu klasifikasi gempa tiruan dalam fase pelatihan dan fase klasifikasi menunjukkan lama waktu yang sama. Tabel 2. menunjukkan pengaruh pemakaian nilai ambang jaringan syaraf tiruan RTAC , jumlah kelas pola yang terbentuk dan lama waktu klasifikasi dalam klasifikasi gempa tiruan otomatis.

Tabel 2. Hubungan nilai ambang JST tipe RTAC, jumlah kelas pola dan lama waktu klasifikasi dalam klasifikasi gempa tiruan otomatis.

Nilai Ambang	Jumlah Kelas Pola Gempa	Waktu * (dt.)
0,1	1	13
0,2	1	13
0,3	3	14
0,4	7	17
0,5	8	18
0,6	9	18
0,7	15	23
0,8	33	36
0,9	60	56
1	60	56

Ket. * = Waktu klasifikasi untuk 60 gempa tiruan.

Pada Tabel 2. menunjukkan bahwa klasifikasi atau pengelompokan pola terjadi untuk nilai ambang jaringan syaraf RTAC antara 0.4 hingga 0.8. Untuk nilai ambang jaringan syaraf tiruan RTAC di bawah 0.4 semua gempa hanya dimasukan ke dalam satu kelas pola besar. Sedang untuk nilai ambang jaringan syaraf tiruan di atas 0.8, semua gempa ditandai sebagai kelas pola tersendiri-sendiri. Dengan demikian klasifikasi gempa tiruan optimal untuk nilai ambang jaringan syaraf tiruan antara 0.4 hingga 0.8.

Untuk menampilkan karakteristik kelas pola yang terbentuk diambil hasil klasifikasi gempa tiruan otomatis dengan memakai nilai 0.5. Klasifikasi gempa tiruan otomatis dengan nilai ambang 0.5 menghasilkan 8 kelas pola. Tiap kelas pola mengandung gempa-gempa tiruan dengan frekuensi spektral berdekatan. Tabel 3. menunjukkan karakteristik frekuensi spektral dari tiap kelas pola yang terbentuk dalam klasifikasi 60 gempa tiruan secara otomatis dengan nilai ambang 0.5.

Tabel 3. Karakteristik frekuensi spektral dari tiap kelas pola yang terbentuk dalam klasifikasi 60 gempa tiruan secara otomatis, dengan nilai ambang 0.5

No.	Kelas pola	Frekuensi (Hz)
1.	1	14 -24 s/d 14.75-24.75
2.	2	12.75 – 22.75 s/d 13.75-23.75
3.	3	11.25 – 21.25 s/d 12.50 –22.50
4.	4	9.50 - 19.50 s/d 11 – 21
5.	5	7.75 - 17.75 s/d 9.25 -19.25
6.	6	6 - 16 s/d 7.50 - 17.50
7.	7	3.75 - 13.75 s/d 5.75 - 15.75
8.	8	0 - 10 s/d 3.50 - 13.50

Klasifikasi Gempa Vulkanik

Hasil klasifikasi otomatis terhadap 60 gempa vulkanik menunjukkan bahwa gempa-gempa tersebut akan dikelompokkan ke dalam beberapa kelas pola (*cluster*). Gempa-gempa dengan frekuensi spektral sama atau berdekatan akan dikelompokkan ke dalam kelas pola yang sama. Jumlah kelas pola yang terbentuk ditentukan oleh nilai ambang jaringan syaraf tiruan tipe RTAC. Semakin besar nilai ambang jaringan syaraf tipe RTAC, semakin besar jumlah kelas pola yang terbentuk. Nilai ambang jaringan syaraf menunjukkan jarak keserupaan minimum antar gempa yang diperbolehkan terjadi dalam satu kelas pola. Jumlah kelas pola menentukan lama waktu klasifikasi. Semakin banyak kelas pola yang terbentuk akan semakin lama waktu klasifikasi (*running time*). Dalam penelitian ini waktu klasifikasi dihitung selama klasifikasi terhadap 60 gempa vulkanik. Waktu klasifikasi gempa vulkanik dalam fase pelatihan dan fase klasifikasi menunjukkan lama waktu yang sama. Tabel 4. menunjukkan pengaruh pemakaian nilai ambang jaringan syaraf tiruan RTAC , jumlah kelas pola yang terbentuk dan lama waktu klasifikasi dalam klasifikasi gempa vulkanik otomatis.

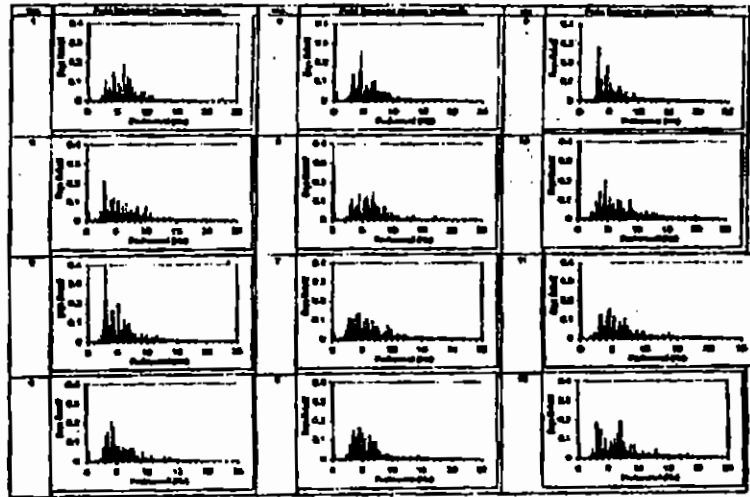
Tabel 4. menunjukkan bahwa klasifikasi atau pengelompokan pola terjadi untuk nilai ambang jaringan syaraf RTAC antara 0.4 hingga 0.9. Untuk nilai ambang JST tipe RTAC di bawah 0.4 semua gempa hanya dimasukan ke dalam satu kelas pola besar. Sedang untuk nilai ambang JST tipe RTAC di atas 0.9, semua gempa ditandai sebagai kelas pola tersendiri-sendiri. Dengan demikian klasifikasi gempa vulkanik optimal untuk nilai ambang jaringan syaraf tiruan antara 0.4 hingga 0.9.

Tabel 4. Hubungan nilai ambang JST tipe RTAC, jumlah kelas pola dan lama waktu klasifikasi dalam klasifikasi gempa vulkanik otomatis.

Nilai Ambang	Jumlah Kelas Pola Gempa	Waku** (dt)
0,1	1	100
0,2	1	100
0,3	1	100
0,4	3	103
0,5	7	106
0,6	45	117
0,7	55	121
0,8	56	122
0,9	57	122
1	60	123

Ket. ** = Waktu klasifikasi untuk 60 gempa vulkanik.

Gambar 3 menunjukkan spektral-spektral gempa yang dikelompokkan menjadi satu kelas secara otomatis oleh sistem pengklasifikasi jaringan syaraf tiruan RTAC dengan menggunakan nilai ambang jaringan 0.5. Terlihat bahwa gempa-gempa dengan distribusi spektral serupa atau mirip dapat dikelompokkan oleh sistem pengklasifikasi jaringan syaraf tiruan RTAC



Gambar 3. Spektral-spektral gempa yang dikelompokkan menjadi satu kelas secara otomatis oleh sistem pengklasifikasi

IV. KESIMPULAN

1. Telah dapat dibuat program pengklasifikasi gempa vulkanik otomatis dengan menggunakan JST tipe pengelompokan pola adaptif waktu-nyata (*real-time adaptive clustering* atau *RTAC*).
2. JST tipe RTAC mengklasifikasi gempa vulkanik berdasarkan frekuensi spektral gempa ketika pola spektral gempa dipakai sebagai ruang ciri jaringan syaraf.
3. Jumlah kelas pola yang terbentuk dalam klasifikasi ditentukan oleh nilai ambang JST tipe RTAC yang dipakai. Semakin besar nilai ambang semakin banyak kelas pola yang terbentuk.
4. Jaringan syaraf tiruan tipe RTAC mampu mengklasifikasi gempa vulkanik secara otomatis dalam waktu yang relatif singkat. Waktu klasifikasi ditentukan oleh jumlah kelas pola yang terbentuk. Semakin banyak kelas pola yang terbentuk semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk klasifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

Fadeli, A.R., 1995, *Pemprosesan Sinyal Digital*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Fu, L.M., 1993, *Neural Network In Computer Intelligence*, McGraw-Hill, inc, Singapore.

Lin, C.T., and Lee, C.S.G., 1996, *Neural Fuzzy Systems*, Prentice-Hall International, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.